

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-325412

(43)Date of publication of application : 08.11.2002

(51)Int.Cl.

H02K 21/24

(21)Application number : 2001-127883

(71)Applicant : MITSUBISHI HEAVY IND LTD

(22)Date of filing : 25.04.2001

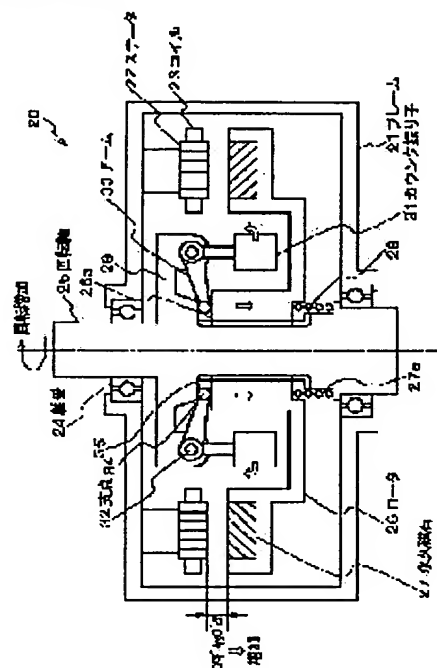
(72)Inventor : KAWASHIMA YUTAKA
UNISUGA SHIGERU

(54) AXIAL-GAP TYPE MOTOR, GENERATOR AND MOTOR-GENERATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an axial-gap type motor in which the loss or the like of the motor is not increased, in response to the number of revolutions.

SOLUTION: In the axial gap-type motor 20 with a rotor 26 with magnets 27 and a stator 22 with coils 23, air gaps d are formed among the magnets and the coils, and the rotor is moved, so that the air gaps are changed in response to the revolution of the rotor.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is the axial gap mold motor which it is the axial gap mold motor equipped with Rota which has a magnet, and the stator which has a coil, and an air gap is established between said magnets and said coils, and moves in said Rota according to rotation of said Rota so that said air gap may change.

[Claim 2] It is the axial gap mold motor which moves according to an operation of the centrifugal force on an axial gap mold motor according to claim 1 and accompanying rotation of said Rota in said Rota.

[Claim 3] It is the axial gap mold motor which moves according to an operation of the force in which the pendulum which sways on the radial outside of the revolving shaft of said Rota according to the centrifugal force on an axial gap mold motor according to claim 2 and accompanying rotation of said Rota in said Rota comes to change said centrifugal force into the force of the direction of an axis of said revolving shaft of said Rota.

[Claim 4] Rota which has a magnet and rotates a revolving shaft as a core, and the stator which has a coil, The supporter formed in concentric circular [said / revolving shaft and concentric circular], and the counter pendulum prepared free [rocking] to said supporter, The press section which is mechanically contacted by said counter pendulum and presses said Rota in the direction of an axis of said revolving shaft according to rocking of said counter pendulum, It is the axial gap mold motor which equipped the sense and reverse sense of press by said press section with the energization section which energizes said Rota. Between said magnets and said coils An air gap is established in the direction which meets the axis of said revolving shaft. Said Rota The axial gap mold motor which moves so that said air gap may change by resisting the energization force by said energization section, and moving to the sense of the press by said press section when pressed by said press section according to rocking of said counter pendulum accompanying rotation of said Rota.

[Claim 5] It is the axial gap mold generator which it is the axial gap mold generator equipped with Rota which has a magnet, and the stator which has a coil, and an air gap is established between said magnets and said coils, and moves in said Rota according to rotation of said Rota so that said air gap may change.

[Claim 6] It is the axial gap mold motor generator which it is the axial gap mold motor generator equipped with Rota which has a magnet, and the stator which has a coil, and an air gap is established between said magnets and said coils, and moves in said Rota according to rotation of said Rota so that said air gap may change.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Especially this invention relates to a suitable axial gap mold motor generator, when outputting and inputting the energy as a turning effort about an axial gap mold motor, a generator, and a motor generator to the flywheel which surfaced for example, by the superconduction magnetic bearing.

[0002]

[Description of the Prior Art] For example, an axial gap mold motor generator may be used for superconduction magnetic levitation equipment. When taking out power, this axial gap mold motor generator generates power from the rotational energy of a flywheel as a generator, while rising to surface by the superconduction magnetic bearing and carrying out high-speed rotation of the flywheel of a non-contact condition as a motor, in order to store power in the form of rotational energy.

[0003] Moreover, generally the axial gap mold motor is used widely. Since the polygon mirror of the light-scanning system with which devices, such as a laser beam printer, a bar code scanner, and facsimile, are equipped is driven, the axial gap mold motor given in JP,8-182295,A which is the example is used.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] The axial gap mold motor generator (a motor, generator) of the general former is shown in drawing 3. As shown in drawing 3, the air gap delta of Rota 12 which has a magnet 11 in the axial gap mold motor and motor generator of the general former, and the stator 14 equipped with a coil 13 was fixed.

[0005] From this, in the axial gap mold motor, the magnetic field strength which acts on a coil 13 became fixed, and the excess and deficiency of an excitation value occurred to the demand torque by the side of the load in each rotational frequency, and loss of a power converter like the inverter in the increment in loss and drive circuit of a motor increased, and it had become the temperature rise of a motor, and the cause of degradation.

[0006] Furthermore, in order to make the output voltage regularity since output voltage changes by change of the Rota rotational frequency when an axial gap mold motor generator is used as a generator, voltage adjustment equipment (AVR:Automatic Voltage Regulator) was indispensable to the output circuit.

[0007] An axial gap mold motor which loss of a motor etc. does not increase according to a rotational frequency is desired. An axial gap mold motor which loss of a motor etc. does not increase is desired by changing the magnetic field strength which acts on a coil according to a rotational frequency. When used as a generator, an axial gap mold generator which can suppress fluctuation of the output voltage by change of the Rota rotational frequency to the minimum is desired. While loss of a motor etc. does not increase according to a rotational frequency as a motor, an axial gap mold motor generator which can suppress fluctuation of the output voltage by change of the Rota rotational frequency as a generator to the minimum is desired.

[0008] In addition, the following motors are indicated by JP,8-80019,A as a motor which can adjust output characteristics. When it has Rota which has the magnet made into the shape of a semicircle drill which inclined in shaft orientations, a stator equipped with the coil which inclined so that an end face

might maintain this Rota and a uniform air gap, and the spring prepared in the shaft of said Rota and Rota is located in the location where the load to the shaft orientations by the load and the repulsive force of said spring balance, it is the motor which adjusts the magnitude of said air gap.

[0009] The following are indicated by JP,9-331660,A as a gap control mold motor which can control the gap between a stator and Rota and can acquire a necessary torque characteristic. Rota supported free [rotation] and two or more stators arranged around said Rota so that the peripheral face of said Rota may be faced, respectively, The peripheral face of said Rota is received in said two or more stators, respectively. Advance / migration means for making it retreat, It has the torque meter which detects the output torque of said Rota, and the controller to which said two or more stators are moved with said migration means so that the output torque detected with said torque meter may serve as a predetermined value.

[0010] The field which counters the rotation magnetic pole of an auxiliary pole gear tooth is formed in JP,8-298737,A in the shape of radii along with the inner skin of a rotation magnetic pole as stator structure of a dynamo-electric machine, and the purport (the improvement effect of cogging torque / torque ripple is also born by changing a gap) which controls the gap of a rotation magnetic pole and the auxiliary pole interdentium to a hand of cut is indicated.

[0011] The purpose of this invention is offering the axial gap mold motor which loss of a motor etc. does not increase according to a rotational frequency. Other purposes of this invention are changing the magnetic field strength which acts on a coil according to a rotational frequency, and are offering the axial gap mold motor which loss of a motor etc. does not increase. The purpose of further others of this invention is offering the axial gap mold generator which can suppress fluctuation of the output voltage by change of the Rota rotational frequency to the minimum, when used as a generator. The purpose of further others of this invention is offering the axial gap mold motor generator which can suppress fluctuation of the output voltage by change of the Rota rotational frequency as a generator to the minimum while loss of a motor etc. does not increase according to a rotational frequency as a motor.

[0012]

[Means for Solving the Problem] The The means for solving a technical problem is expressed as follows. The account of ** of parenthesis (), a number, the notation, etc. is carried out to the technical matter of the claim correspondence under the expression. Although the number, a notation, etc. clarify relation corresponding to coincidence - between the technical matter corresponding to a claim, and the technical matter of at least one gestalt in the plural voice of operation, they are not to show that the technical matter corresponding to a claim is limited to the technical matter of the gestalt of operation.

[0013] The axial gap mold motor of this invention is an axial gap mold motor (20) equipped with the magnet (Rota (26 which has 27)), and the stator (22) which has a coil (23), and between said magnets (27) and said coils (23), an air gap (δ) is established, and according to said rotation of Rota (26), said Rota (26) moves so that said air gap (δ) may change.

[0014] In the axial gap mold motor (20) of this invention, said Rota (26) moves according to an operation of the centrifugal force accompanying said rotation of Rota (26).

[0015] the axial gap mold motor (20) of this invention -- setting -- said Rota -- (26) -- said Rota -- the centrifugal force accompanying rotation of (26) -- said Rota -- the pendulum (31) which sways on the radial outside of the revolving shaft (25) of (26) -- said centrifugal force -- said Rota -- it moves according to an operation of the force which it comes to change into the force of the direction of an axis of said revolving shaft (25) of (26).

[0016] The axial gap mold motor (20) of this invention A magnet (Rota (26 which has 27) and rotates a revolving shaft (25) as a core), The stator (22) which has a coil (23), and the supporter formed in concentric circular [said / revolving shaft (25) and concentric circular] (29), The counter pendulum prepared free [rocking] to said supporter (29) (31), The press section which is mechanically contacted by said counter pendulum (31) and presses said Rota (26) in the direction of an axis of said revolving shaft (25) according to rocking of said counter pendulum (31) (34), It is the axial gap mold motor (20) which equipped the sense and reverse sense of press by said press section (34) with the energization section (28) which energizes said Rota (26). Between said magnets (27) and said coils (23) An air gap (δ) is established in the direction which meets the axis of said revolving shaft (25). Said Rota (26) When pressed by said press section (34) according to rocking of said counter pendulum (31) accompanying said rotation of Rota (26) By resisting the energization force by said energization section

(28), and moving to the sense of the press by said press section (34), it moves so that said air gap (δ) may change.

[0017] The axial gap mold generator (20) of this invention They are a magnet (Rota (26 which has 27)), and the axial gap mold generator (20) equipped with the stator (22) which has a coil (23). Between said magnets (27) and said coils (23), an air gap (δ) is established, and according to said rotation of Rota (26), said Rota (26) moves so that said air gap (δ) may change.

[0018] The axial gap mold motor generator (20) of this invention They are a magnet (Rota (26 which has 27)), and the axial gap mold motor generator (20) equipped with the stator (22) which has a coil (23). Between said magnets (27) and said coils (23), an air gap (δ) is established, and according to said rotation of Rota (26), said Rota (26) moves so that said air gap (δ) may change.

[0019]

[Embodiment of the Invention] One operation gestalt of the axial gap mold motor generator of this invention is explained.

[0020] Drawing 1 is the sectional side elevation showing the 1st operation gestalt of the axial gap mold motor generator of this invention. First, the configuration of the axial gap mold motor generator 20 of the 1st operation gestalt is explained.

[0021] The axial gap mold motor generator 20 is equipped with the permanent magnet 27 fixed to a frame 21, the stator 22 fixed to the inside top face of a frame 21, the coil 23 wound around the stator 22, the revolving shaft 25 supported free [rotation] through bearing 24 to the frame 21, Rota 26, and Rota 26.

[0022] Rota 26 is attached by the spline or the key to the revolving shaft 25. Thereby, to the revolving shaft 25, although transfer of the running torque between a revolving shaft 25 and Rota 26 is made, Rota 26 is constituted in the direction of an axis of a revolving shaft 25 (the vertical direction) so that it may be movable.

[0023] The spring 28 in the condition of having been compressed is formed between the inferior surface of tongue of Rota 26, and step 27a of a revolving shaft 25. Thereby, Rota 26 is always energized upward with the spring 28.

[0024] In the interior of a frame 21, the disk section 29 prepared so that the diameter might be expanded from the shaft center of a revolving shaft 25 to concentric circular is formed in the upper part of a revolving shaft 25. Two or more counter pendulums 31 are arranged equally [the hoop direction regular intervals of the disk section 29] at the periphery section of the disk section 29. The counter pendulum 31 is attached in the condition of having been hung in the location of the supporting point 32, to the disk section 29, and rocking of it is enabled a radial outside and inside the revolving shaft 25 focusing on the supporting point 32. The counter pendulum 31 which rocks the supporting point 32 as a core, and the arm 33 which moves in one are attached in the supporting point 32. The point 34 of an arm 33 moves the supporting point 32 in the shape of radii as a core.

[0025] The point 34 of an arm 33 is pressed upward by inside top-face 26a of Rota 26 energized with the spring 28 in the condition that Rota 26 is not rotating. The point 34 pressed by inside top-face 26a is supported in the condition of having been pinched between the step 35 prepared in the inferior-surface-of-tongue side of the disk section 29, and inside top-face 26a.

[0026] Next, actuation of the axial gap mold motor generator 20 is explained.

[0027] If the rotational frequency of Rota 26 increases when the axial gap mold motor generator 20 operates as a generator or a motor, the counter pendulum 31 will sway outward [of a revolving shaft 25 / radial] focusing on the supporting point 32 according to a centrifugal force. When the counter pendulum 31 sways according to a centrifugal force, the point 34 of an arm 33 presses inside top-face 26a of Rota 26 downward. At this time, Rota 26 resists the energization force with a spring 28, and falls downward, consequently the air gap δ between the permanent magnet 27 of Rota 26 and the coil 23 of a stator 22 becomes large.

[0028] While the axial gap mold motor generator of the general former is operating as a generator, with the axial gap mold motor generator 20 of this operation gestalt, fluctuation of output voltage is suppressed with the increment in the rotational frequency of Rota to the minimum because an air gap δ becomes large with the place which progresses to the inclination which output voltage increases at the increment in the rotational frequency of Rota 26 and the field force of acting on a coil 23 becomes small. Consequently, adjustment width of face of the output voltage by voltage adjustment equipment

(AVR) can be made small compared with the former.

[0029] Moreover, while the axial gap mold motor generator of the general former is operating as a motor, with the axial gap mold motor generator 20 of this operation gestalt, the increment in iron loss can be suppressed because an air gap delta becomes large at the increment in the rotational frequency of Rota 26 with the place which progresses to the inclination for iron loss to become large with the increment in the rotational frequency of Rota and the field force of acting on a coil 23 becomes small.

[0030] When the axial gap mold motor generator 20 operates as a motor, when the rotational frequency of Rota 26 goes up, since the field force of acting on a coil 23 becomes small, compared with the time of rotation starting of Rota 26, it is in the inclination for an output torque to become small, as mentioned above.

[0031] Here, when an axial gap mold motor generator (or motor) is used for an electric vehicle or the so-called hybrid car, it takes to the increment in the rotational frequency of Rota equivalent to the rotational frequency of a tire, and even if the running torque for driving a tire becomes small somewhat, a problem big when driving the vehicle is not produced. As mentioned above, it is suitable to apply to the load with which the axial gap mold motor generator 20 (or motor of the same structure as the axial gap mold motor generator 20) in the inclination to take to the increment in the rotational frequency of Rota 26, and for an output torque to become small is taken to the increment in a rotational frequency like an electric vehicle or the so-called hybrid car and with which it is sufficient for required torque at least.

[0032] Next, the 2nd operation gestalt is explained with reference to drawing 2.

[0033] First, the configuration of the axial gap mold motor 40 of the 2nd operation gestalt is explained.

[0034] The axial gap mold motor 40 is equipped with the permanent magnet 47 fixed to a frame 41, the stator 42 fixed to the inside inferior surface of tongue of a frame 41, the coil 43 wound around the stator 42, the revolving shaft 45 supported free [rotation] through bearing 44 to the frame 41, Rota 46, and Rota 46.

[0035] Rota 46 is attached by the spline or the key to the revolving shaft 45. Thereby, to the revolving shaft 45, although transfer of the running torque between a revolving shaft 45 and Rota 46 is made, Rota 46 is constituted in the direction of an axis of a revolving shaft 45 (the vertical direction) so that it may be movable.

[0036] The spring 48 in the condition of having been compressed is formed between the inferior surface of tongue of Rota 46, and step 47a of a revolving shaft 45. Thereby, Rota 46 is always energized upward with the spring 48.

[0037] In the interior of a frame 41, the disk section 49 prepared so that the diameter might be expanded from the shaft center of a revolving shaft 45 to concentric circular is formed in the upper part of a revolving shaft 45. Two or more counter pendulums 51 are arranged equally [the hoop direction regular intervals of the disk section 49] at the periphery section of the disk section 49. The counter pendulum 51 is attached in the condition of having been hung in the location of the supporting point 52, to the disk section 49, and rocking of it is enabled a radial outside and inside the revolving shaft 45 focusing on the supporting point 52. The counter pendulum 51 which rocks the supporting point 52 as a core, and the arm 53 which moves in one are attached in the supporting point 52. The point 54 of an arm 53 moves the supporting point 52 in the shape of radii as a core.

[0038] The point 54 of an arm 53 is pressed upward by inside top-face 46a of Rota 46 energized with the spring 48 in the condition that Rota 46 is not rotating. The point 54 pressed by inside top-face 46a is supported in the condition of having been pinched between the step 55 prepared in the inferior-surface-of-tongue side of the disk section 49, and inside top-face 46a.

[0039] Next, actuation of the axial gap mold motor 40 is explained.

[0040] If the rotational frequency of Rota 46 increases when the axial gap mold motor 40 operates, the counter pendulum 51 will sway outward [of a revolving shaft 45 / radial] focusing on the supporting point 52 according to a centrifugal force. When the counter pendulum 51 sways according to a centrifugal force, the point 54 of an arm 53 presses inside top-face 46a of Rota 46 downward. At this time, Rota 46 resists the energization force with a spring 48, and falls downward, consequently the air gap delta between the permanent magnet 47 of Rota 46 and the coil 43 of a stator 42 becomes small.

[0041] Since an air gap delta will become small and the field force of acting on a coil 43 will become large if the rotational frequency of Rota 46 goes up when the axial gap mold motor 40 operates, it is in the inclination for an output torque to become large, compared with the time of rotation starting of Rota

46.

[0042] Here, when an axial gap mold motor generator (or motor) is used for a pump, the running torque for taking and carrying out a pumping to the increment in the rotational frequency of Rota equivalent to pumping actuation must be large. As mentioned above, it is suitable to apply to the load which takes like a pump the axial gap mold motor 40 in the inclination to take to the increment in the rotational frequency of Rota 46, and for an output torque to become large to the increment in a rotational frequency, and needs big torque.

[0043] As explained above, according to the 1st or 2nd operation gestalt, the following operation effectiveness can be done so.

[0044] Since according to the 1st operation gestalt it is not based on change of the rotational frequency of Rota but the output voltage of a generator becomes fixed, an abbreviation or simplification of an output circuit of voltage adjustment equipment is attained, and cost reduction and efficient-ization can be attained. When the axial gap mold motor generator of the 1st operation gestalt is especially used for superconduction magnetic levitation equipment, in case the power stored in the flywheel as rotational energy is outputted, the rotational frequency of Rota essentially changes (it decreases with the passage of time). Moreover, similarly, when the 1st operation gestalt is used for an aerogenerator, the rotational frequency of Rota is always changed according to a wind force. Furthermore, the 1st operation gestalt is used for a hybrid car, and also when generating electricity from the rotational energy which became excessive at the time of braking, the rotational energy (rotational frequency) changes with operational status. The 1st operation gestalt has especially effectiveness, when the rotational frequency of Rota essentially changes as mentioned above, even if it usually enters in an operation (generation of electrical energy) condition.

[0045] According to the 1st and 2nd operation gestalt, since the excitation value over each Rota rotational frequency turns into a proper value to a need value, the iron loss of a motor and loss of the motor inverter for a drive decrease, and an exoergic fall and effectiveness improve.

[0046] Usually, in a general motor, if a rotational frequency generally goes up, iron loss will become large. On the other hand, since the air gap between the coil of a stator and the permanent magnet of Rota will become large if a rotational frequency goes up when the axial gap mold motor generator of the 1st operation gestalt is used as a motor, the field force of acting on a coil becomes small, and iron loss can be reduced.

[0047] With the 1st and 2nd operation gestalt, it carries out regulating automatically of the air gap between the coil of a stator, and the permanent magnet of Rota mechanically proportionally, corresponding to the rotational frequency of Rota. In the 1st and 2nd operation gestalt, in case an air gap is adjusted, the Rota side is moved.

[0048] In case the Rota side is moved, a centrifugal force when Rota rotates is used. The centrifugal force is changed into the force of the direction of a revolving shaft of Rota. A pendulum is used on the occasion of conversion of the force. As the pendulum, various kinds of pendulums can be considered and it is not limited to the structure explained above.

[0049] The centrifugal force which changes to Rota at a rotational frequency can be used, and the direction location for excitation of a magnetic axis can be changed. For example, the device to which Rota is moved up and down is established by the arm connected to the counter pendulum and the pendulum, and an air gap is automatically adjusted to the predetermined plan location to a rotational frequency.

[0050] The counter pendulum which sways on the radial outside with rotation of Rota can function as a flywheel, and can equalize fluctuation of rotational speed using the inertia, and can make a lot of energy hold in the axial gap mold electric (generation of electrical energy) machine of the 1st and 2nd operation gestalt. Therefore, when the axial gap mold motor generator of the 1st operation gestalt is used for superconduction magnetic levitation equipment, turning effort (rotational energy) can be stably transmitted between the flywheels for stationary energy storage supported by only the superconduction magnetic bearing.

[0051]

[Effect of the Invention] According to the axial gap mold motor of this invention, since the excitation value over each Rota rotational frequency turns into a proper value to a need value, the iron loss of a motor and loss of the motor inverter for a drive decrease, and an exoergic fall and effectiveness

improve.

[0052] Since according to the axial gap mold generator of this invention it is not based on change of the rotational frequency of Rota but the output voltage of a generator becomes fixed, an abbreviation or simplification of an output circuit of voltage adjustment equipment is attained, and cost reduction and efficient-ization can be attained.

[0053] When operating as a motor according to the axial gap mold motor generator of this invention Since the excitation value over each Rota rotational frequency turns into a proper value to a need value, while the iron loss of a motor and loss of the motor inverter for a drive decrease and an exoergic fall and effectiveness improve Since it is not based on change of the rotational frequency of Rota but the output voltage of a generator becomes fixed when operating as a generator, an abbreviation or simplification of an output circuit of voltage adjustment equipment is attained, and cost reduction and efficient-ization can be attained.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JP0 and NCIP1 are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] Drawing 1 is the sectional side elevation showing the axial gap mold motor generator of the 1st operation gestalt of this invention.

[Drawing 2] Drawing 2 is the sectional side elevation showing the axial gap mold motor generator of the 2nd operation gestalt of this invention.

[Drawing 3] Drawing 3 is the sectional side elevation showing the axial gap mold motor generator of the general former.

[Description of Notations]

11 Magnet
12 Rota
13 Coil
14 Stator
20 Axial Gap Mold Motor Generator
21 Frame
22 Stator
23 Coil
24 Bearing
25 Revolving Shaft
26 Rota
26a Inside top face
27 Permanent Magnet
27a Step
28 Spring
29 Disk Section
31 Counter Pendulum
32 Supporting Point
33 Arm
34 Point
35 Step
40 Axial Gap Mold Motor
41 Frame
42 Stator
43 Coil
44 Bearing
45 Revolving Shaft
46 Rota
46a Inside top face
47 Permanent Magnet
47a Step
48 Spring
49 Disk Section

51 Counter Pendulum
52 Supporting Point
53 Arm
54 Point
55 Step
delta Air gap

[Translation done.]

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-325412

(P2002-325412A)

(43) 公開日 平成14年11月8日 (2002. 11. 8)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 2 K 21/24

識別記号

F I

H 0 2 K 21/24

ターコード* (参考)

M 5 H 6 2 1

G

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2001-127883(P2001-127883)

(22) 出願日 平成13年4月25日 (2001. 4. 25)

(71) 出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72) 発明者 河島 裕

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂製作所内

(72) 発明者 宇仁菅 繁

兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号

三菱重工業株式会社高砂製作所内

(74) 代理人 100102864

弁理士 工藤 実 (外1名)

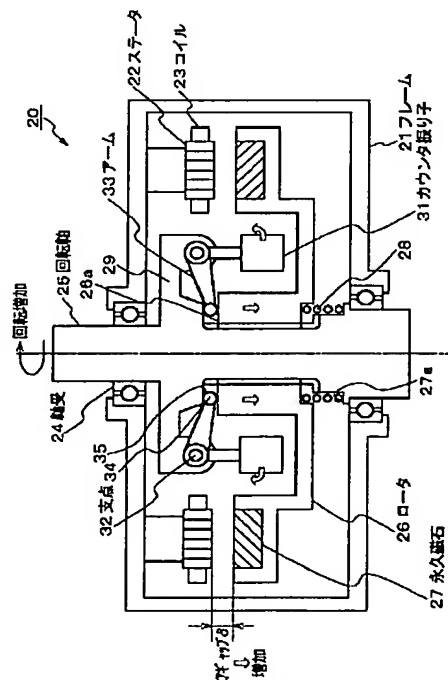
Fターム(参考) 5H621 AA03 BB07 JK15 JK17 PP02
PP03

(54) 【発明の名称】 アキシシャルギャップ型電動機、発電機および電動発電機

(57) 【要約】

【課題】 回転数に応じて電動機の損失等が増加することがない、アキシシャルギャップ型電動機を提供する。

【解決手段】 磁石27を有するロータ26と、コイル23を有するステータ22とを備えたアキシシャルギャップ型電動機20であって、前記磁石と前記コイルの間には、エアギャップδが設けられ、前記ロータは、前記ロータの回転に応じて、前記エアギャップが変化するように移動する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁石を有するロータと、
コイルを有するステータとを備えたアキシャルギャップ型電動機であって、
前記磁石と前記コイルの間には、エアーギャップが設けられ、
前記ロータは、前記ロータの回転に応じて、前記エアーギャップが変化するように移動するアキシャルギャップ型電動機。

【請求項 2】 請求項 1 記載のアキシャルギャップ型電動機において、
前記ロータは、前記ロータの回転に伴う遠心力の作用により移動するアキシャルギャップ型電動機。

【請求項 3】 請求項 2 記載のアキシャルギャップ型電動機において、
前記ロータは、前記ロータの回転に伴う遠心力により前記ロータの回転軸の半径方向外側に振れる振り子により前記遠心力が前記ロータの前記回転軸の軸線方向の力に変換されてなる力の作用により、移動するアキシャルギャップ型電動機。

【請求項 4】 磁石を有し回転軸を中心として回転するロータと、
コイルを有するステータと、
前記回転軸と同心円状に設けられた支持部と、
前記支持部に対し揺動自在に設けられたカウンタ振り子と、
前記カウンタ振り子に機械的に接触され前記カウンタ振り子の揺動に応じて前記ロータを前記回転軸の軸線方向に押圧する押圧部と、
前記押圧部による押圧の向きと逆向きに前記ロータを付勢する付勢部とを備えたアキシャルギャップ型電動機であって、
前記磁石と前記コイルの間には、前記回転軸の軸線に沿う方向にエアーギャップが設けられ、
前記ロータは、前記ロータの回転に伴う前記カウンタ振り子の揺動に応じて前記押圧部により押圧されたときに、前記付勢部による付勢力に抗して前記押圧部による押圧の向きに動くことにより、前記エアーギャップが変化するように移動するアキシャルギャップ型電動機。

【請求項 5】 磁石を有するロータと、
コイルを有するステータとを備えたアキシャルギャップ型電動機であって、
前記磁石と前記コイルの間には、エアーギャップが設けられ、
前記ロータは、前記ロータの回転に応じて、前記エアーギャップが変化するように移動するアキシャルギャップ型電動機。

【請求項 6】 磁石を有するロータと、
コイルを有するステータとを備えたアキシャルギャップ型電動機であって、

前記磁石と前記コイルの間には、エアーギャップが設けられ、

前記ロータは、前記ロータの回転に応じて、前記エアーギャップが変化するように移動するアキシャルギャップ型電動発電機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、アキシャルギャップ型電動機、発電機および電動発電機に関し、特に、例えば、超電導磁気軸受により浮上したフライホイールに回転力としてのエネルギーを入出力するときに好適なアキシャルギャップ型電動発電機に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば、超電導磁気浮上装置には、アキシャルギャップ型電動発電機が用いられることがある。このアキシャルギャップ型電動発電機は、電力を回転エネルギーの形で貯蔵するために、電動機として、超電導磁気軸受により浮上し非接触状態のフライホイールを高速回転させるとともに、電力を取り出すときには発電機として、フライホイールの回転エネルギーから電力を生成する。

【0003】また、アキシャルギャップ型電動機は、広く一般に用いられている。その一例である特開平 8-182295 号公報に記載のアキシャルギャップ型電動機は、例えば、レーザプリンタ、バーコードスキャナ、ファクシミリ等の機器が備える光走査系のポリゴンミラーを駆動するために用いられている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】図 3 に、従来一般のアキシャルギャップ型電動発電機（電動機、発電機）を示す。図 3 に示すように、従来一般のアキシャルギャップ型電動機および電動発電機では、磁石 11 を有するロータ 12 と、コイル 13 を装着したステータ 14 のエアーギャップ δ が一定であった。

【0005】このことから、アキシャルギャップ型電動機では、コイル 13 に作用する磁界の強さが一定となり、各回転数における負荷側の要求トルクに対し、励磁値の過不足が発生し、電動機の損失増加や駆動回路にあるインバータのような電力変換器の損失が増加し、電動機の温度上昇や効率低下の原因となっていた。

【0006】さらに、アキシャルギャップ型電動発電機が発電機として用いられるときには、ロータ回転数の変化によって出力電圧が変わることから、その出力電圧を一定にするため、出力回路に電圧調整装置（AVR: Automatic Voltage Regulator）が不可欠となっていた。

【0007】回転数に応じて電動機の損失等が増加することがない、アキシャルギャップ型電動機が望まれている。回転数に応じて、コイルに作用する磁界の強さが変動することで、電動機の損失等が増加することがない、

アキシシャルギャップ型電動機が望まれている。発電機として用いられるときに、ロータ回転数の変化による出力電圧の変動を最小限に抑えることのできる、アキシシャルギャップ型発電機が望まれている。電動機として回転数に応じて電動機の損失等が増加することがないとともに、発電機としてロータ回転数の変化による出力電圧の変動を最小限に抑えることのできる、アキシシャルギャップ型電動発電機が望まれている。

【0008】なお、特開平8-80019号公報には、出力特性を調整することが可能なモータとして以下のモータが記載されている。軸方向に傾斜した半円錐状とした磁石を有するロータと、端面がこのロータと均一なエアギャップを保つように傾斜したコイルを装着したステータと、前記ロータの軸に設けたバネとを備え、負荷による軸方向の加重と前記バネの反発力が平衡する位置にロータが位置することによって、前記エアギャップの大きさを調整するモータである。

【0009】特開平9-331660号公報には、ステータとロータとの間のギャップを制御して所要のトルク特性を得ることができギャップ制御型モータとして、次のものが記載されている。回転自在に支持されたロータと、それぞれ前記ロータの外周面を臨むように前記ロータの周囲に配置された複数のステータと、前記複数のステータをそれぞれ前記ロータの外周面に対して前進／後退させるための移動手段と、前記ロータの出力トルクを検出するトルク計と、前記トルク計により検出された出力トルクが所定値となるように前記移動手段により前記複数のステータを移動させるコントローラとを備えたものである。

【0010】特開平8-298737号公報には、回転電機の固定子構造として、補助極歯の回転磁極に対向する面を回転磁極の内周面に沿って円弧状に形成し、回転磁極と補助極歯間のギャップを回転方向に対してコントロールする（ギャップを変化させることによりコギングトルク／トルクリップルの改善効果も生まれる）旨が記載されている。

【0011】本発明の目的は、回転数に応じて電動機の損失等が増加することがない、アキシシャルギャップ型電動機を提供することである。本発明の他の目的は、回転数に応じて、コイルに作用する磁界の強さが変動することで、電動機の損失等が増加することがない、アキシシャルギャップ型電動機を提供することである。本発明の更に他の目的は、発電機として用いられるときに、ロータ回転数の変化による出力電圧の変動を最小限に抑えることのできる、アキシシャルギャップ型発電機を提供することである。本発明の更に他の目的は、電動機として回転数に応じて電動機の損失等が増加することがないとともに、発電機としてロータ回転数の変化による出力電圧の変動を最小限に抑えることのできる、アキシシャルギャップ型電動発電機を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】その課題を解決するための手段が、下記のように表現される。その表現中の請求項対応の技術的事項には、括弧（）つき、番号、記号等が添記されている。その番号、記号等は、請求項対応の技術的事項と実施の複数形態のうちの少なくとも一つの形態の技術的事項との一致・対応関係を明白にしているが、その請求項対応の技術的事項が実施の形態の技術的事項に限定されることを示すためのものではない。

【0013】本発明のアキシシャルギャップ型電動機は、磁石（27）を有するロータ（26）と、コイル（23）を有するステータ（22）とを備えたアキシシャルギャップ型電動機（20）であって、前記磁石（27）と前記コイル（23）の間には、エアギャップ（ δ ）が設けられ、前記ロータ（26）は、前記ロータ（26）の回転に応じて、前記エアギャップ（ δ ）が変化するように移動する。

【0014】本発明のアキシシャルギャップ型電動機（20）において、前記ロータ（26）は、前記ロータ（26）の回転に伴う遠心力の作用により移動する。

【0015】本発明のアキシシャルギャップ型電動機（20）において、前記ロータ（26）は、前記ロータ（26）の回転に伴う遠心力により前記ロータ（26）の回転軸（25）の半径方向外側に振れる振り子（31）により前記遠心力が前記ロータ（26）の前記回転軸（25）の軸線方向の力に変換されてなる力の作用により、移動する。

【0016】本発明のアキシシャルギャップ型電動機（20）は、磁石（27）を有し回転軸（25）を中心として回転するロータ（26）と、コイル（23）を有するステータ（22）と、前記回転軸（25）と同心円状に設けられた支持部（29）と、前記支持部（29）に対し揺動自在に設けられたカウンタ振り子（31）と、前記カウンタ振り子（31）に機械的に接触され前記カウンタ振り子（31）の揺動に応じて前記ロータ（26）を前記回転軸（25）の軸線方向に押圧する押圧部（34）と、前記押圧部（34）による押圧の向きと逆向きに前記ロータ（26）を付勢する付勢部（28）とを備えたアキシシャルギャップ型電動機（20）であって、前記磁石（27）と前記コイル（23）の間には、前記回転軸（25）の軸線に沿う方向にエアギャップ（ δ ）が設けられ、前記ロータ（26）は、前記ロータ（26）の回転に伴う前記カウンタ振り子（31）の揺動に応じて前記押圧部（34）により押圧されたときに、前記付勢部（28）による付勢力に抗して前記押圧部（34）による押圧の向きに動くことにより、前記エアギャップ（ δ ）が変化するように移動する。

【0017】本発明のアキシシャルギャップ型発電機（20）は、磁石（27）を有するロータ（26）と、コイル（23）を有するステータ（22）とを備えたアキシ

ャルギャップ型発電機(20)であって、前記磁石(27)と前記コイル(23)の間には、エアギャップ(δ)が設けられ、前記ロータ(26)は、前記ロータ(26)の回転に応じて、前記エアギャップ(δ)が変化するように移動する。

【0018】本発明のアキシャルギャップ型電動発電機(20)は、磁石(27)を有するロータ(26)と、コイル(23)を有するステータ(22)とを備えたアキシャルギャップ型電動発電機(20)であって、前記磁石(27)と前記コイル(23)の間には、エアギャップ(δ)が設けられ、前記ロータ(26)は、前記ロータ(26)の回転に応じて、前記エアギャップ(δ)が変化するように移動する。

【0019】

【発明の実施の形態】本発明のアキシャルギャップ型電動発電機の一実施形態を説明する。

【0020】図1は、本発明のアキシャルギャップ型電動発電機の第1実施形態を示す側断面図である。まず、第1実施形態のアキシャルギャップ型電動発電機20の構成について説明する。

【0021】アキシャルギャップ型電動発電機20は、フレーム21と、フレーム21の内側上面に固設されたステータ22と、ステータ22に巻回されたコイル23と、フレーム21に対して軸受24を介して回転自在に支持された回転軸25と、ロータ26と、ロータ26に固定された永久磁石27と、を備えている。

【0022】ロータ26は、回転軸25に対してスプラインまたはキーによって取り付けられている。これにより、回転軸25とロータ26の間での回転トルクの伝達はなされるが、ロータ26は、回転軸25に対して回転軸25の軸線方向(上下方向)には移動可能のように構成されている。

【0023】ロータ26の下面と、回転軸25の段部27aとの間には、圧縮された状態のバネ28が設けられている。これにより、ロータ26は、バネ28により常時、上向きに付勢されている。

【0024】フレーム21の内部において、回転軸25の上部には、回転軸25の軸中心から同心円状に拡張するように設けられた円板部29が設けられている。円板部29の外周部には、複数のカウンタ振り子31が円板部29の周方向等間隔均等に配置されている。カウンタ振り子31は、円板部29に対し、支点32の位置で吊下げられた状態で取り付けられ、支点32を中心として回転軸25の半径方向外側および内側に揺動自在とされている。支点32には、支点32を中心として揺動するカウンタ振り子31と一体的に動くアーム33が取り付けられている。アーム33の先端部34は、支点32を中心として円弧状に移動する。

【0025】アーム33の先端部34は、ロータ26が回転していない状態において、バネ28によって付勢さ

れたロータ26の内側上面26aによって上向きに押圧されている。内側上面26aによって押圧された先端部34は、円板部29の下面側に設けられた段部35と、内側上面26aとの間に挟持された状態で支持されている。

【0026】次に、アキシャルギャップ型電動発電機20の動作について説明する。

【0027】アキシャルギャップ型電動発電機20が発電機または電動機として動作するとき、ロータ26の回転数が増加すると、遠心力によりカウンタ振り子31が支点32を中心として回転軸25の半径方向外向きに振れる。遠心力により、カウンタ振り子31が振れたとき、アーム33の先端部34がロータ26の内側上面26aを下向きに押圧する。このとき、ロータ26は、バネ28による付勢力に抗して下向きに下がり、その結果、ロータ26の永久磁石27と、ステータ22のコイル23の間のエアギャップδが大きくなる。

【0028】従来一般のアキシャルギャップ型電動発電機が発電機として動作しているときには、ロータの回転数の増加に伴い、出力電圧が増加する傾向に進むところを、本実施形態のアキシャルギャップ型電動発電機20では、ロータ26の回転数の増加に伴いエアギャップδが大きくなり、コイル23に作用する界磁力が小さくなることで、出力電圧の変動が最小限に抑えられる。その結果、電圧調整装置(AVR)による出力電圧の調整幅を従来に比べて小さくすることができる。

【0029】また、従来一般のアキシャルギャップ型電動発電機が電動機として動作しているときには、ロータの回転数の増加に伴い鉄損が大きくなる傾向に進むところを、本実施形態のアキシャルギャップ型電動発電機20では、ロータ26の回転数の増加に伴いエアギャップδが大きくなり、コイル23に作用する界磁力が小さくなることで、鉄損の増加を抑えることができる。

【0030】アキシャルギャップ型電動発電機20が電動機として動作するときには、前述のように、ロータ26の回転数が上がると、コイル23に作用する界磁力が小さくなることから、ロータ26の回転始動時に比べ、出力トルクが小さくなる傾向にある。

【0031】ここで、アキシャルギャップ型電動発電機(または電動機)が、電気自動車またはいわゆるハイブリッドカーに用いられる場合には、タイヤの回転数に相当するロータの回転数の増加に連れて、タイヤを駆動するための回転トルクが多少小さくなくても、その車を駆動する上で大きな問題は生じない。上記のように、ロータ26の回転数の増加に連れて出力トルクが小さくなる傾向にあるアキシャルギャップ型電動発電機20(またはアキシャルギャップ型電動発電機20と同じ構造の電動機)は、電気自動車またはいわゆるハイブリッドカーのように、回転数の増加に連れて必要なトルクが少なくても足りる負荷に適用することが適している。

【0032】次に、図2を参照して、第2実施形態について説明する。

【0033】まず、第2実施形態のアキシアルギャップ型電動機40の構成について説明する。

【0034】アキシアルギャップ型電動機40は、フレーム41と、フレーム41の内側下面に固設されたステータ42と、ステータ42に巻回されたコイル43と、フレーム41に対して軸受44を介して回転自在に支持された回転軸45と、ロータ46と、ロータ46に固定された永久磁石47と、を備えている。

【0035】ロータ46は、回転軸45に対してスプラインまたはキーによって取り付けられている。これにより、回転軸45とロータ46との間での回転トルクの伝達はなされるが、ロータ46は、回転軸45に対して回転軸45の軸線方向（上下方向）には移動可能のように構成されている。

【0036】ロータ46の下面と、回転軸45の段部47aとの間には、圧縮された状態のバネ48が設けられている。これにより、ロータ46は、バネ48により常時、上向きに付勢されている。

【0037】フレーム41の内部において、回転軸45の上部には、回転軸45の軸中心から同心円状に拡張するように設けられた円板部49が設けられている。円板部49の外周部には、複数のカウンタ振り子51が円板部49の周方向等間隔均等に配置されている。カウンタ振り子51は、円板部49に対し、支点52の位置で吊下げられた状態で取り付けられ、支点52を中心として回転軸45の半径方向外側および内側に揺動自在とされている。支点52には、支点52を中心として揺動するカウンタ振り子51と一体的に動くアーム53が取り付けられている。アーム53の先端部54は、支点52を中心として円弧状に移動する。

【0038】アーム53の先端部54は、ロータ46が回転していない状態において、バネ48によって付勢されたロータ46の内側上面46aによって上向きに押圧されている。内側上面46aによって押圧された先端部54は、円板部49の下面側に設けられた段部55と、内側上面46aとの間に挟持された状態で支持されている。

【0039】次に、アキシアルギャップ型電動機40の動作について説明する。

【0040】アキシアルギャップ型電動機40が動作するとき、ロータ46の回転数が増加すると、遠心力によりカウンタ振り子51が支点52を中心として回転軸45の半径方向外向きに振れる。遠心力により、カウンタ振り子51が振れたとき、アーム53の先端部54がロータ46の内側上面46aを下向きに押圧する。このとき、ロータ46は、バネ48による付勢力に抗して下向きに下がり、その結果、ロータ46の永久磁石47と、ステータ42のコイル43の間のエアギャップδが小

さくなる。

【0041】アキシアルギャップ型電動機40が動作するときには、ロータ46の回転数が増加すると、エアギャップδが小さくなり、コイル43に作用する界磁力が大きくなることから、ロータ46の回転始動時に比べ、出力トルクが大きくなる傾向にある。

【0042】ここで、アキシアルギャップ型電動発電機（または電動機）が、ポンプに用いられる場合には、ポンピング動作に相当するロータの回転数の増加に連れて、ポンピングするための回転トルクは小さくなくてはならない。上記のように、ロータ46の回転数の増加に連れて出力トルクが大きくなる傾向にあるアキシアルギャップ型電動機40は、ポンプのように、回転数の増加に連れて大きなトルクを必要とする負荷に適用することが適している。

【0043】以上説明したように、第1または第2実施形態によれば、以下の作用効果を奏することができる。

【0044】第1実施形態によれば、ロータの回転数の変化によらず発電機の出力電圧が一定となるため、出力回路の電圧調整装置の省略または簡略化が可能となり、コスト低減や高効率化が図れる。特に、第1実施形態のアキシアルギャップ型電動発電機が超電導磁気浮上装置に用いられた場合には、フライホイールに回転エネルギーとして貯蔵された電力を出力する際に、ロータの回転数が本質的に変化（時間の経過と共に減少）する。また、同様に、第1実施形態が風力発電機に用いられた場合にも、ロータの回転数は風力に応じて常時変動する。さらに、第1実施形態がハイブリッドカーに用いられ、制動時に余分となった回転エネルギーから発電する場合にも、その回転エネルギー（回転数）は運転状態によって異なる。第1実施形態は、上記のように、通常運転（発電）状態時に入ってもロータの回転数が本質的に変化する場合に、特に効果がある。

【0045】第1および第2実施形態によれば、各ロータ回転数に対する励磁値が必要値に対して適正值となるため、電動機の鉄損や駆動用電動機変換装置の損失が減少し、発熱低下や効率が向上する。

【0046】通常一般の電動機では、一般に回転数が増加すると鉄損が大きくなる。これに対し、第1実施形態のアキシアルギャップ型電動発電機が電動機として用いられる場合には、回転数が増加すると、ステータのコイルとロータの永久磁石との間のエアギャップが大きくなるため、コイルに作用する界磁力が小さくなり、鉄損を減らすことができる。

【0047】第1および第2実施形態では、ロータの回転数に応じてまたは比例して、ステータのコイルとロータの永久磁石との間のエアギャップを機械的に自動調整する。第1および第2実施形態においては、エアギャップを調整する際に、ロータ側を移動させる。

【0048】ロータ側を移動させる際には、ロータが回

転したときの遠心力を用いる。その遠心力をロータの回転軸方向の力に変換する。その力の変換に際しては、振り子を用いる。その振り子としては、各種の振り子が考えられ、上記に説明した構造に限定されない。

【0049】ロータに回転数により変わる遠心力を利用し、励磁用磁石の軸方向位置を変えることができる。例えば、カウンタ振り子と振り子に接続されたアームにより、ロータを上下に移動させる機構を設け、エアギャップを回転数に対する所定の計画位置に自動的に調整する。

【0050】第1および第2実施形態のアキシシャルギャップ型電動（発電）機において、ロータの回転に伴い半径方向外側に振れるカウンタ振り子は、フライホイールとして機能し、その慣性を利用して、回転速度の変動を平均化し、また多量のエネルギーを保有させることができる。よって、第1実施形態のアキシシャルギャップ型電動発電機が超電導磁気浮上装置に用いられた場合、超電導磁気軸受によってのみ支持された電力貯蔵用フライホイールとの間で回転力（回転エネルギー）の伝達を安定に行うことができる。

【0051】

【発明の効果】本発明のアキシシャルギャップ型電動機によれば、各ロータ回転数に対する励磁値が必要値に対し、適正值となるため、電動機の鉄損や、駆動用電動機変換装置の損失が減少し、発熱低下や、効率が向上する。

【0052】本発明のアキシシャルギャップ型発電機によれば、ロータの回転数の変化によらず発電機の出力電圧が一定となるため、出力回路の電圧調整装置の省略または簡略化が可能となり、コスト低減や高効率化が図れる。

【0053】本発明のアキシシャルギャップ型電動発電機によれば、電動機として動作するときには、各ロータ回転数に対する励磁値が必要値に対し、適正值となるため、電動機の鉄損や、駆動用電動機変換装置の損失が減少し、発熱低下や、効率が向上するとともに、発電機として動作するときには、ロータの回転数の変化によらず発電機の出力電圧が一定となるため、出力回路の電圧調整装置の省略または簡略化が可能となり、コスト低減や高効率化が図れる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の第1実施形態のアキシシャルギャップ型電動発電機を示す側断面図である。

【図2】図2は、本発明の第2実施形態のアキシシャルギ

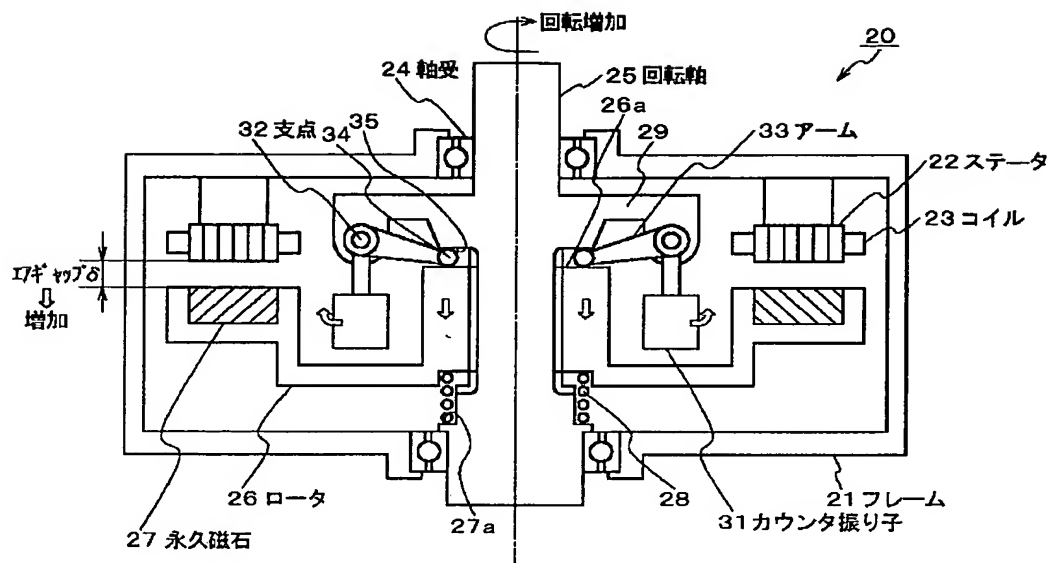
ャップ型電動発電機を示す側断面図である。

【図3】図3は、従来一般のアキシシャルギャップ型電動発電機を示す側断面図である。

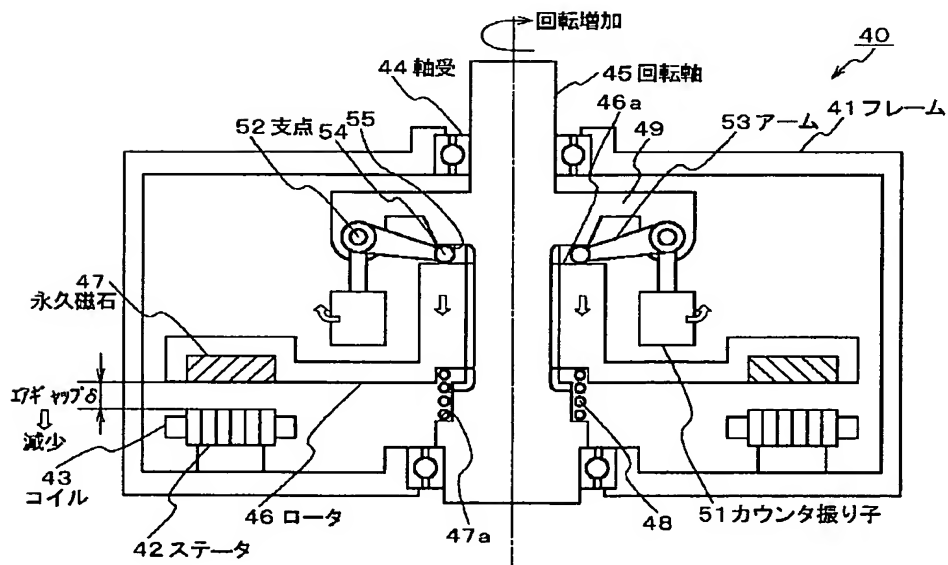
【符号の説明】

- | | |
|--------|------------------|
| 1 1 | 磁石 |
| 1 2 | ロータ |
| 1 3 | コイル |
| 1 4 | ステータ |
| 2 0 | アキシシャルギャップ型電動発電機 |
| 10 2 1 | フレーム |
| 2 2 | ステータ |
| 2 3 | コイル |
| 2 4 | 軸受 |
| 2 5 | 回転軸 |
| 2 6 | ロータ |
| 2 6 a | 内側上面 |
| 2 7 | 永久磁石 |
| 2 7 a | 段部 |
| 2 8 | バネ |
| 20 2 9 | 円板部 |
| 3 1 | カウンタ振り子 |
| 3 2 | 支点 |
| 3 3 | アーム |
| 3 4 | 先端部 |
| 3 5 | 段部 |
| 4 0 | アキシシャルギャップ型電動機 |
| 4 1 | フレーム |
| 4 2 | ステータ |
| 4 3 | コイル |
| 30 4 4 | 軸受 |
| 4 5 | 回転軸 |
| 4 6 | ロータ |
| 4 6 a | 内側上面 |
| 4 7 | 永久磁石 |
| 4 7 a | 段部 |
| 4 8 | バネ |
| 4 9 | 円板部 |
| 5 1 | カウンタ振り子 |
| 5 2 | 支点 |
| 40 5 3 | アーム |
| 5 4 | 先端部 |
| 5 5 | 段部 |
| δ | エアギャップ |

【図 1】



【図 2】



【図 3】

